

剪力墙加固研究综述

韩 剑¹, 席 凯¹, 黄镇斌^{2,3}, 潘姣姣^{2,3*}

¹中建海创(陕西)建设有限公司, 陕西 西安

²西京学院土木工程学院, 陕西 西安

³陕西省混凝土结构安全与耐久性重点实验室, 陕西 西安

收稿日期: 2025年5月20日; 录用日期: 2025年6月13日; 发布日期: 2025年6月23日

摘 要

既有建筑物在长期的使用环境和自然环境下, 将不可避免的逐渐损坏, 丧失其原有功能, 因此科学有效的鉴定与加固可使不能达到安全使用要求的建筑物重新发挥其结构功能和安全使用功能, 具有重要的经济意义和现实意义。剪力墙作为高层结构体系中的主要抗侧力构件, 能够有效控制结构的水平侧移, 对结构的抗震性能具有显著影响。本文首先对剪力墙加固的国内外研究现状进行介绍, 其次对加固方法及优缺点进行概况总结, 为我国剪力墙加固的研究与应用提供参考。

关键词

剪力墙, 加固方法, 高层结构体系

Review of Shear Wall Strengthening Research

Jian Han¹, Kai Xi¹, Zhenbin Huang^{2,3}, Jiaojiao Pan^{2,3*}

¹China Construction Haichuang (Shaanxi) Construction Co. Ltd., Xi'an Shaanxi

²Department of Civil Engineering, Xijing University, Xi'an Shaanxi

³Shaanxi Key Laboratory of Safety and Durability of Concrete Structures, Xi'an Shaanxi

Received: May 20th, 2025; accepted: Jun. 13th, 2025; published: Jun. 23rd, 2025

Abstract

Existing buildings inevitably undergo gradual deterioration due to long-term service conditions and environmental impacts, leading to the loss of their original functionality. Scientific and effective assessment and strengthening can restore the structural integrity and safety of buildings that no

*通讯作者。

文章引用: 韩剑, 席凯, 黄镇斌, 潘姣姣. 剪力墙加固研究综述[J]. 土木工程, 2025, 14(6): 1492-1497.

DOI: 10.12677/hjce.2025.146160

longer meet safety requirements, which holds significant economic and practical importance. As primary lateral load-resisting members in high-rise structural systems, shear walls effectively control lateral displacement and critically influence the seismic performance of structures. This paper first provides an overview of current research on shear wall strengthening both domestically and internationally. Subsequently, it summarizes various strengthening methods, along with their respective advantages and disadvantages, aiming to offer a reference for future research and engineering applications of shear wall strengthening.

Keywords

Shear Wall, Strengthening Methods, High-Rise Structural System

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

我国当前正处于城市化高速推进期,随着城镇建设规模的持续扩张,高层、超高层建筑及大跨度复杂结构体系不仅形成庞大的既有建筑存量,同时新建工程的市场需求仍保持显著增长态势。在此背景下,建筑结构服役期的安全评估与性能提升技术将形成持续性技术需求。行业统计数据显示,现有城镇建筑中约 30%~50%存在不同程度的结构性能衰减或承载力下降问题,其中待进行专业检测与加固处理的建筑面积已达数亿平方米量级[1]。既有建筑物的鉴定与加固作为一门新兴学科是在近 20 年逐步发展形成的,建筑物的鉴定与加固是对既有建筑存在隐患、缺损、功能退化以及可靠度降低等问题进行评估,进而采取有效的技术措施,延长建筑物的使用寿命。科学有效的鉴定与加固可使不能达到安全使用要求的建筑物重新发挥其结构功能和安全使用功能,具有重要的经济意义和现实意义。

既有高层及超高层建筑结构基本结构构件为钢筋混凝土剪力墙。由于剪力墙具有比较高的轴向承载力、抗剪承载力和抗弯承载力,尤其是具有很高的抗剪承载力而作为结构体系中的主要抗侧力构件。剪力墙若在承受地震作用时发生破坏,不仅直接威胁到人的生命财产安全,而且损坏后难于修复。因此,对既有剪力墙的加固将成为一个新的研究方向。剪力墙加固是通过有效的加固技术措施,使受损剪力墙恢复其原有功能,或使既有剪力墙的承载力和抗震性能满足使用要求。本文查阅国内外许多学者的试验及理论研究并系统整理了 5 种剪力墙加固方法,为今后对剪力墙加固的研究和发展提供帮助和参考依据。

2. 剪力墙加固国内外研究现状

2.1. 国内研究现状

盛光远等[2]对钢筋混凝土剪力墙结构,采用外贴钢板加固技术进行低周反复加载试验研究。试验数表明:在墙体边缘约束构件区域实施 U 形钢板加固,可显著改善墙体能量耗散能力与变形恢复性能,对提升结构整体抗震韧性具有工程应用价值。

章红梅[3]等为系统评估不同加固方案对剪力墙抗震性能的影响,共设计制作了 6 组钢筋混凝土剪力墙试件,具体包括:未采取任何加固措施的混凝土剪力墙、仅配置水平 U 形箍约束的加固试件,以及采用水平 U 形箍与竖向型钢组合加固但端部锚固构造存在差异的 3 类试件。通过低周反复加载试验获得以下主要结论:粘钢加固对墙体的水平承载力提高效果较为明显,加固材料在墙体端部的锚固方式对试件的破坏形式和承载力等性能指标有比较明显的影响。

梅许江等[4]针对缩尺比例为1:3的五层双肢剪力墙结构开展低周反复加载试验。试验数据分析表明：加固后试件极限承载力和变形能力均得到提高，滞回曲线饱满度显著改善。该研究证明了角钢加固剪力墙底和刚性底座有效提升了结构整体抗震性能。

邓宗才等[5]为探究剪跨比参数对 HFRP (Hybrid Fiber Reinforced Polymer)加固效能的影响，针对 4 组钢筋混凝土剪力墙试件开展低周反复加载试验。试验结果表明：外贴 HFRP 可有效抑制墙体刚度衰减过程，该作用在低剪跨比试件中表现更为显著。该研究成果验证了 HFRP 加固方案在控制刚度退化及提升耗能性能方面的技术优势，为不同剪跨比条件下剪力墙结构的纤维复合材料加固设计提供了试验依据。

封卉梅等[6]通过 7 片高宽比为 2 的剪力墙试件的低周反复加载试验，研究碳纤维与玄武岩纤维两种纤维片材对剪力墙的承载力及延性和耗能等抗震性能的影响。试验结果表明，从承载力和延性的角度来说，碳纤维对剪力墙的改善作用更明显；从耗能的角度来说，玄武岩纤维对剪力墙的提高更多。

张远森等[7]采用拟静力试验研究高延性纤维增强水泥基复合材料(ECC)修复后的震损钢筋混凝土剪力墙的抗震性能。先对剪力墙进行了初次拟静力试验，剪力墙呈现剪切破坏，混凝土压溃，脚部钢筋压弯、屈服甚至断裂，然后凿除受损部分混凝土，采用 ECC 进行置换修复，再次进行拟静力试验。试验结果表明，ECC 加固后剪力墙试件的承载力基本得到恢复，延性、耗能能力显著提高，破坏模式由脆性破坏转化为延性破坏。

余江滔等[8]采用扩展有限元方法(XFEM)与内聚力裂缝模型相结合，研究 ECC 修复震损剪力墙中受损混凝土和 ECC 材料内部的裂缝开展以及界面裂缝在 ECC 与混凝土界面之间开展的力学行为，并在此基础上数值再现了原有钢筋混凝土墙体及修复后墙体在水平荷载作用下的反应。模拟结果表明：将 XFEM 方法与基于界面的内聚力模型相结合，可较好地模拟有黏结界面的修复后剪力墙的受力行为，承载力和位移均与试验结果吻合良好。

廖维张[9]通过对 9 片预应力高强钢绞线网 - 聚合物砂浆加固的钢筋混凝土剪力墙和 1 片未加固对比墙试件进行低周往复加载试验，研究了轴压比、单双面加固、预应力水平对抗震加固效果的影响。试验结果表明：经预应力高强钢绞线网 - 聚合物砂浆技术加固后，较未加固试件，剪力墙试件的开裂荷载提高 83%、屈服荷载提高 100%、极限荷载提高 9.5%；双面加固试件的滞回性能要优于单面加固试件；在轴压比 $n=0.4$ 下，较未加固试件，单面加固试件的延性最大增幅为 27.7%，耗能能力最大增幅为 66.07%；双面加固试件的延性最大增幅为 72.8%，耗能能力最大增幅为 96.60%。此外，加固后试件的刚度显著提高，刚度退化减缓；预应力水平的提高对试件的耗能能力和刚度退化影响不大，但对延性的影响较明显。

张鹏飞[10]为评估超高性能混凝土(UHPC)在既有剪力墙结构加固中的应用效果，以某住宅楼二期工程 16 号楼为研究案例，结合该住宅楼主体结构现状，利用 PKPM 软件建立了大楼结构模型，通过调整模型结构参数，分析了加固前后的建筑结构破坏情况，并结合 VFEAP 有限元分析软件分析了加固后建筑的层间位移及极限荷载作用下的结构顶层水平位移情况。结果显示：该住宅楼加固前后的结构破坏应力极限值分别为 0.87 kN/m^2 ， 36.79 kN/m^2 ，对应最大结构竖向位移分别为 8.7 mm ， 18.1 mm ；加固后模型的最大层间位移角为 0.0032，大震模拟工况下的结构承载力仅为加固后结构承载力的 66%，验证了超高性能混凝土加固既有剪力墙结构的可行性。

戚宏宇[11]通过高延性混凝土局部置换加固剪力墙进行了抗震性能试验，旨在评估其在地震荷载下的效果。采用数控循环荷载试验系统进行了多组试验，分析了加固前后的墙体变形特性及耗能能力。结果显示，局部置换加固显著提升了剪力墙的延性以及耗能能力，有效减小了结构在地震作用下的损伤程度，高延性混凝土局部置换加固剪力墙在提升建筑抗震性能方面具有巨大的潜力。马利[12]为了探究高延性混凝土在提升剪力墙抗震性能方面的作用，研究过程制备了改性活性粉末混凝土，其中添加了聚丙烯纤维和钢纤维，研究结果表明加固后的剪力墙具有更好的抗震性能。宋玉霜[13]为了探究高延性混凝土对

剪力墙抗震性能的影响,其利用改性活性粉末混凝土局部置换加固剪力墙,并且设置两个对照组,结果显示,经过高延性混凝土局部置换加固的剪力墙,极限承载力、破坏承载力明显提升,优于两个对照组,说明该加固方式有利于提高剪力墙的抗震性能。

2.2. 国外研究现状

Meda 等[14]提出采用一种高性能面层加固既有剪力墙,该面层配有高强钢丝网和 15 mm 的高性能混凝土,高性能混凝土强度高于 150 MP。通过 1:3 的缩尺模型进行低周反复试验加载,试验结果表明,该加固方式可显著提高结构的承载能力和变形能力。

Marini 等[15]通过在关键部位设置预应力筋来修复和加固既有剪力墙,采用足尺的试验模型进行水平循环加载,试验结果表明,加载至最大位移时,采用预应力筋加固后仅有一条裂缝出现在墙体底部,而传统剪力墙的裂缝则分布在底部的一个区域范围内。说明在地震作用下,该加固方法可在弹性范围内减小构件耗能能力,避免震后产生残余变形,从而限制了构件的损伤。

Ha 等[16]设计了 4 片高宽比为 2.2 的剪力墙试件,研究增大截面加固和钢板加固对原墙体的加固效果。试验结果表明,加固后的墙体承载力和延性都得到了提高,墙体加固的水平钢筋端部为 U 形比水平钢筋端部断开的加固效果更好,而采用钢板的加固效果最为显著,不仅可以防止试件屈服后承载力的突然下降,而且可大幅提高其变形能力。

Vecchio 等[17]对两片剪力墙进行低周反复加载破坏后,凿除墙体受损混凝土并重新浇筑混凝土,再次对墙体进行加载试验。试验结果表明,墙体的承载力、刚度和耗能能力基本得到恢复,也表明修复方案、修复混凝土的强度以及在未修复区域的残余损伤可对修复结果产生较大影响。

Antoniades 等[18]对 6 片高宽比为 1.5 的悬臂剪力墙进行水平往复加载破坏后,采用角钢、钢板和 FRP 等材料对其进行加固,然后进行第二次加载。试验结果表明,加固后的墙体承载力较第一次加载有所提高,就锚固方式而言,在底梁上用钢板锚固侧面粘贴的 FRP 最为有效,其次为 U 形 GFRP 固定的钢板加固,采用角钢加固的效果最差。

Altin 等[19]设计了 5 片高宽比为 1.5 的剪力墙进行低周反复加载,1 片为对照墙,其余 4 片为 CFRP 条带加固墙体,采用水平分布、X 分布或其组合等加固方式,均为对称分布。试验结果表明,与未加固墙体相比,加固墙体的水平承载力、水平变形能力和耗能能力均得到提高;X 方向加固的墙体发生脆性剪切破坏,而水平方向加固的墙体发生弯曲破坏并在其底部形成塑性铰。证明合理的 CFRP 条加固方式可控制剪切裂缝的发展并提高墙体的变形能力。

3. 剪力墙的破坏机理

剪力墙作为现代建筑抗震体系的核心构件,其在地震作用下的破坏过程呈现出复杂的力学响应。剪力墙在破坏过程中呈现明显的阶段特征:初裂阶段、明显屈服、严重破坏。损伤首先发生在墙肢底部,随后向中部发展,最终形成贯穿性斜裂缝导致承载力骤降。剪力墙破坏可以分成以下三种破坏模式:

1) 弯曲破坏

当高宽比较大时剪力墙易发生弯曲破坏,其典型表现为底部塑性铰区混凝土压溃、纵筋屈曲,这是由于截面抗弯承载力不足导致弯曲屈服后变形能力降低。

2) 剪切破坏

低矮剪力墙易发生斜向剪切裂缝,该破坏具有突发性,当主拉应力超过混凝土抗拉强度时,形成贯通斜裂缝,伴随箍筋断裂和混凝土剥落。

3) 节点失效破坏

此类破坏源于梁 - 墙节点区应力集中, 当锚固长度不足或箍筋配置不合理时, 纵筋被拔出导致节点解体, 严重削弱结构整体性。

4. 剪力墙加固方法

4.1. 增大截面加固法

增大截面法加固[9], 也称为外包混凝土加固, 通过增加原构件的受力钢筋, 同时在外侧浇筑新的混凝土, 通过增大原构件尺寸来提高其强度、刚度和稳定性。这种加固方式适用范围较广, 被广泛应用于混凝土构件的加固。增大截面法的技术关键在于新、旧混凝土材料能否共同工作, 即结合面的剪力能否有效传递。优点在于工艺简单, 适用面广, 缺点是现场湿作业工作量较大, 构件尺寸的增大导致结构自重增大, 有效使用空间减小。

4.2. 置换加固法

置换加固法[7]通过凿除原有构件部分或全部混凝土, 然后浇筑不低于原混凝土强度等级的新混凝土, 适用于承重构件受压区混凝土强度偏低或存在缺陷的局部加固, 原构件尺寸基本不发生变化。除了保证新、旧混凝土共同工作外, 还应避免置换界面出现拉应力。优点与增大截面法相同且不增加构件尺寸和结构自重, 缺点是后浇混凝土难以完全替代原混凝土, 容易在新、旧混凝土界面出现裂缝。

4.3. 外包钢加固法

外包钢加固法[4]是指采用角钢或 U 形钢等对混凝土四角或两面进行加固, 分为湿式和干式加固。湿式加固是指外包型钢与被加固构件之间灌入环氧树脂或乳胶水泥等材料使其形成整体, 共同工作; 干式加固则是指加固型钢与原构件无粘结, 两者相互独立工作。在对原构件尺寸改变不大的情况下, 使构件的承载力或抗震性能得到恢复或提高。优点是施工简单, 现场工作量小, 受力性能可靠, 缺点是用钢量较大。

4.4. 粘钢加固法

粘钢加固法[2][3]是通过结构胶将钢板和混凝土构件粘结形成整体, 以增强原构件的承载力或抗震性能。该方法基本不改变原构件的尺寸和外形, 适用于大偏心受压、受拉及受弯混凝土构件的加固。其优缺点与外包钢基本相同。

4.5. 纤维片材加固法

纤维片材加固法[5][6]是通过结构胶将纤维片材和混凝土构件粘结形成整体, 利用纤维的高强度和 high 弹性模量达到提高构件的承载力或抗震性能。目前加固采用的增强纤维材料主要有碳纤维(CFRP)、玄武岩纤维(CBF)、玻璃纤维(GFRP)等。优点是施工便捷快速, 加固后不改变构件外观且不增加自重, 具有良好的耐腐蚀性和耐久性, 其缺点就是未明显改善构件的延性、耗能能力较差且易粘结失效。

此外, 还有体外预应力加固法、增设支点加固法、钢丝网 - 聚合物砂浆面层加固法等, 以上各种加固方法都有其各自的使用范围和局限性。目前, 我国剪力墙加固领域的研究尚处于初步阶段, 需要对各种加固方法进行更深入的研究探索, 或寻找新型加固方式, 为剪力墙加固提供更多的选择。

5. 结论

我国既有建筑的加固技术起步较晚, 对剪力墙加固的研究还不够完善。但随着技术的不断完善和经验的不断积累, 多种新型加固方式层出不穷, 给剪力墙加固的研究发展带来了新的希望。本文对目前剪

力墙加固的研究现状进行介绍, 并对剪力墙加固方法进行了概括总结, 现有传统的增大截面加固法由于混凝土本身强度和脆性的影响导致加固效果不明显, 或者加固后影响使用。未来我国剪力墙加固技术应该更加侧重于新材料的研究, 将具有高强度和高极限压应变特点的新材料运用在剪力墙加固中, 能提高其的抗裂性能和承载能力, 使加固剪力墙能起到良好的效果。

基金项目

西安市科学技术协会青年人才托举计划项目(项目编号: 959202413093); 西京学院高层次人才专项基金(项目编号: XJ21B21)。

参考文献

- [1] 黄兴棣. 建筑物鉴定加固与增层改造[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [2] 盛光远. 粘钢加固钢筋混凝土剪力墙抗震性能研究[D]: [博士学位论文]. 上海: 同济大学, 2006.
- [3] 章红梅, 吕西林. 粘钢加固钢筋混凝土剪力墙抗震性能试验研究[J]. 结构工程师, 2007, 23(1): 72-76.
- [4] 梅许江, 苏明周, 石韵, 等. 角钢加固剪力墙墙肢底部试验研究[J]. 西华大学学报: 自然科学版, 2012, 31(5): 86-90.
- [5] 邓宗才, 曾洪超. 层内混杂 FRP 加固混凝土剪力墙抗震性能试验[J]. 北京工业大学学报, 2012(10): 1504-1508.
- [6] 封卉梅. 不同类型片材加固剪力墙性能比较研究[D]: [博士学位论文]. 郑州: 郑州大学, 2011.
- [7] 张远淼, 余江滔, 陆洲导, 等. ECC 修复震损剪力墙抗震性能试验研究[J]. 工程力学, 2015(1): 72-80.
- [8] 余江滔, 陈竟, 陆洲导, 等. 超高韧度水泥基修复剪力墙试验的数值分析[J]. 同济大学学报自然科学版, 2015, 43(2): 175-180.
- [9] 廖维张, 张春磊, 贾天宇, 等. 预应力高强钢绞线网-聚合物砂浆加固剪力墙抗震性能试验研究[J]. 建筑结构学报, 2017, 38(6): 70-77.
- [10] 张鹏飞. 超高性能混凝土加固后的既有剪力墙结构性能评估[J]. 山西建筑, 2025, 51(11): 58-61.
- [11] 戚宏宇. 高延性混凝土局部置换加固剪力墙抗震性能试验分析[J]. 福建建材, 2025(1): 68-70+33.
- [12] 马利, 董鸿杰. 高延性混凝土局部置换加固剪力墙抗震性能试验分析[J]. 中国水泥, 2024(8): 91-93.
- [13] 宋玉霜. 高延性混凝土在剪力墙置换中应用性能分析[J]. 中国新技术新产品, 2024(12): 92-94.
- [14] Marini, A. and Meda, A. (2009) Retrofitting of R/C Shear Walls by Means of High Performance Jackets. *Engineering Structures*, **31**, 3059-3064. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2009.08.005>
- [15] Marini, A., Riva, P. and Fattori, L. (2007) Post-Tensioned Tendons for the Repair and Retrofitting of Structural R/C Walls. In: *Design, Assessment and Retrofitting of RC Structures*, Routledge.
- [16] Ha, G.J. and Seo, S.Y. (2008) Experimental Study on the Retrofit Method to Improve the Structural Capacity of Reinforced Concrete Shear Wall. *Games & Economic Behavior*, **61**, 86-112.
- [17] Vecchio, F.J., Peña, O.A.H.D.L., Bucci, F., et al. (2002) Behavior of Repaired Cyclically Loaded Shear Walls. *ACI Structural Journal*, **99**, 327-334.
- [18] Antoniadis, K.K., Salonikios, T.N. and Kappos, A.J. (2005) Tests on Seismically Damaged Reinforced Concrete Walls Repaired and Strengthened Using Fiber-Reinforced Polymers. *Journal of Composites for Construction*, **9**, 236-246. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1090-0268\(2005\)9:3\(236\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1090-0268(2005)9:3(236))
- [19] Altin, S., Anil, Ö., Koprman, Y. and Kara, M.E. (2013) Hysteretic Behavior of RC Shear Walls Strengthened with CFRP Strips. *Composites Part B: Engineering*, **44**, 321-329. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.05.009>